
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA LOCAÇÃO UTILIZANDO RTK VIA NTRIP PARA LINHAS DE BASE CURTAS

RAFAEL VICENTE ¹

WILLIAM RODRIGO DAL POZ ¹

LÉCIO ALVES NASCIMENTO ^{1,2}

¹Universidade Federal de Viçosa - UFV
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CCE
Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, MG
pvicente.rafael@gmail.com, william.dalpoz@ufv.br

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais - IFNMG
Campus Araçuaí – MG
lecio.nascimento@ifnmg.edu.br

RESUMO - A tecnologia GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é utilizada em atividades que necessitam de coordenadas precisas, em curto intervalo de tempo. Diversos métodos de posicionamento relativo podem ser empregados, destacando-se dentre eles o RTK (*Real Time Kinematics*), que consiste no envio das correções dos sinais dos satélites GNSS, em tempo real, da estação de referência para uma estação a qual se deseja determinar as coordenadas. Uma modalidade de envio das correções é denominada NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*), e consiste em utilizar a rede de telefonia móvel para o envio, contrapondo-se ao tradicional rádio. No Brasil, este serviço é oferecido pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), através da RBMC-IP (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS em Tempo Real). De forma a avaliar a qualidade deste serviço, aplicou-se o método relativo estático e utilizou-se destas coordenadas como referência para simulação de locação utilizando o método RTK via NTRIP. Comparações entre as coordenadas obtidas com o método relativo estático e o método RTK via NTRIP também foram efetuadas. A maior discrepância observada foi de: 2,9 cm entre RTK via método relativo estático e RTK via NTRIP e; 3 cm no processo de locação utilizando RTK via NTRIP.

ABSTRACT - The GNSS (*Global Navigation Satellite System*) technology is used in activities requiring precise coordinates, in a short period of time. Several relative positioning methods can be used, among stands out them the RTK (*Real Time Kinematics*), which consists of sending the corrections of the signals from GNSS satellites in real time, of the reference station to a station which you want determine coordinates. A mode of transmission of corrections is called NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*), and uses the mobile network for the sending, as opposed to the traditional radio. In Brazil, this service is offered by the IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics) through the RBMC-IP (Continuous Monitoring Brazilian Network of GNSS Systems in Real Time). In order to assess the quality of this service, we applied the relative static method and used these coordinates as a reference for leasing simulation using the RTK method via NTRIP. Comparisons between the coordinates obtained from the relative static method and the method RTK via NTRIP were also made. The biggest discrepancy observed was: 2.9 cm between RTK via static and RTK relative method via NTRIP and; 3 cm in the leasing process using RTK via NTRIP.

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia GNSS (*Global Navigation Satellite System*) integra vários sistemas de posicionamento por satélites, como o americano GPS (*Global Positioning System*), o russo GLONASS (*GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), o chinês BeiDou (*China's Navigation Satellite System - CNSS*) e o europeu Galileo (*European Satellite*

Navigation System). Além destes, ainda existem alguns sistemas adicionais em operação, denominados SBAS (*Space Based Augmentation Systems*), que transmitem mensagens adicionais que certos receptores podem decodificar e utilizar juntamente com os sinais GNSS para obter melhores desempenhos no posicionamento (ENGEL *et al.*, 2004).

Desde o surgimento do primeiro sistema de posicionamento por satélites, essa tecnologia tem evoluído, provocando significativas alterações na maneira de se realizar levantamentos. Atualmente, com o GPS e GLONASS em pleno funcionamento, técnicas de posicionamento exploram a obtenção de coordenadas cada vez mais acuradas em pequenos intervalos de tempo de coleta de dados. Dentre tais técnicas, pode-se destacar o método relativo que consiste em utilizar as duplas diferenças como observáveis fundamentais. Devido à simultaneidade das observáveis, o usuário deve dispor de dois ou mais receptores que sejam rastreados pelos mesmos satélites de modo sincronizado (MONICO, 2008). Com a introdução da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS), coletando e concedendo os dados via internet, o posicionamento relativo pode ser realizado utilizando-se apenas um receptor.

No posicionamento relativo em tempo real, destaca-se o RTK (*Real-Time Kinematic*). Este consiste na observação simultânea de dois pontos (similar ao posicionamento relativo): um fixo em local de coordenadas conhecidas (estação base) e outro onde se deseja determiná-las (estação *rover*). Para tal processo, o receptor instalado no ponto de coordenadas conhecidas precisa enviar informações em tempo real para o receptor móvel onde se deseja obter as coordenadas, sendo que essa transmissão de dados pode ser feita através de link de rádio ou via internet, utilizando o NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*). Tal método pode alcançar acurácia centimétrica, sem a necessidade de um pós-processamento dos dados (DAI *et al.*, 2003). Contudo, o aumento da linha de base pode causar degradações nos resultados, visto que os erros de ionosfera, troposfera e órbita dos satélites obtidos pelo usuário perdem sua correlação (ALVES, 2008).

Nos últimos anos, com o avanço da Internet, da infraestrutura de comunicação disponível para o público em geral (rede para celulares, por exemplo) e da tecnologia dos receptores GNSS, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas para investigar o uso da internet na transmissão de dados. A internet funciona como um link para a transmissão das correções para os usuários. Atualmente, utiliza-se o protocolo de Internet denominado de NTRIP para disseminar dados GNSS pela rede. Esse protocolo foi desenvolvido pela *Federal Agency for Cartography and Geodesy* da Alemanha juntamente com a Universidade de Dortmund e a *Trimble Terrasat GmbH* e foi implementado com o intuito de substituir a transmissão via rádio, que muitas vezes é limitada pela distância entre as estações (DALBELO, 2010). Contudo, salienta-se que no caso do NTRIP um fator limitante é a necessidade de acesso a rede de telefonia móvel.

Atualmente, a busca por qualidade posicional aliada à otimização do tempo de rastreio, atrai um grande número de usuários a empregar o posicionamento GNSS através do método RTK convencional utilizando dois aparelhos simultaneamente. Com a inclusão da RBMC-IP (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS em Tempo Real), o custo do sistema RTK pode ser reduzido devido à utilização de apenas um receptor que tenha capacidade de realizar essa conexão direta com a internet, já que a base será integrante da RBMC-IP que enviará as correções via protocolo NTRIP.

Nesse contexto, avaliou-se neste trabalho o desempenho do posicionamento GNSS empregando o protocolo NTRIP, através da: avaliação da qualidade do posicionamento planimétrico com RTK utilizando o protocolo NTRIP para transmissão das correções via internet como meio de comunicação e; Avaliação da influência da locação de pontos utilizando o RTK via NTRIP em função do comprimento da linha de base.

2 POSICIONAMENTO RELATIVO

No posicionamento relativo, a posição de um ponto é determinada com relação à de outro(s), cujas coordenadas são conhecidas. As coordenadas do(s) ponto(s) conhecido(s) normalmente estão referenciadas ao WGS84 (*World Geodetic System*), ou a um sistema compatível, como o SIRGAS (Sistema de Referência para as Américas) ou ao ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*).

Deve ser destacada a questão da simultaneidade das observações no posicionamento relativo. Nesse caso, têm-se duas situações possíveis de ocorrer a simultaneidade: a primeira forma é considerar a simultaneidade das observações no momento de transmissão e a segunda no momento de recepção. Entretanto, normalmente, observações recebidas no mesmo instante são transmitidas em instantes diferentes e as transmitidas no mesmo instante são recebidas em instantes diferentes. Isto ocorre porque, na sua grande maioria, o satélite se encontra a distâncias diferentes com relação às duas estações. Diante do exposto, os erros dos relógios dos satélites e receptores não são totalmente eliminados no processo de diferenciação entre as observáveis, eles são minimizados (MONICO, 2008).

No posicionamento relativo, utilizam-se, em geral, as duplas diferenças como observáveis fundamentais. Outro fator considerável é a utilização de receptores de dupla frequência (L1 e L2), muito utilizada para eliminar os efeitos de primeira ordem da ionosfera em linhas de base com comprimento superior a 20 km. Nesse caso, se as outras fontes de erros forem modeladas adequadamente, as coordenadas são determinadas com precisão de poucos centímetros ou milímetros, sendo esta a principal técnica de posicionamento utilizada em aplicações geodésicas (IBGE, 2008).

2.1 Posicionamento relativo estático

A observável normalmente adotada no posicionamento relativo estático é a DD da fase de batimento da onda portadora, muito embora possa também se utilizar a DD da pseudodistância, ou ambas. Esse tipo de posicionamento se constitui quando dois ou mais receptores rastreiam, simultaneamente, os satélites visíveis por um período de tempo que pode variar de dezenas de minutos (20 minutos no mínimo) até algumas horas.

Nesse método, em razão da duração da coleta de dados ser relativamente longa, o vetor de ambiguidades, exceto por alguns problemas não esperados, pode ser facilmente solucionado para ser injuncionado como um vetor de números inteiros no ajustamento.

O posicionamento relativo estático permite obter precisão da ordem de 1,0 a 0,1 ppm, ou mesmo melhor do que isso. No entanto, nas redes geodésicas em que as linhas-base envolvidas forem longas (maiores que 15 km) e a precisão requerida for melhor que 1 ppm, é imprescindível o uso de receptores de dupla frequência (MONICO, 2008).

2.2 Posicionamento relativo cinemático em tempo real (RTK)

Segundo Monico (2008), o posicionamento relativo cinemático tem também como observável fundamental a fase da onda portadora, muito embora o uso da pseudodistância seja muito importante na solução do vetor de ambiguidades. Os dados provenientes do método de posicionamento relativo cinemático podem ser processados após a coleta (pós-processado) ou durante a coleta (tempo real).

No entanto, muitas aplicações obtêm grandes benefícios se as coordenadas são determinadas em tempo real, tais como monitoramento, navegação, obras de engenharia, terraplenagem, locação de obras, agricultura de precisão, dentre outros. Mas para que esse conceito seja realizado na prática, é necessário que os dados coletados na estação de referência sejam transmitidos para estação móvel, necessitando-se para tanto de um *link* de rádio ou algum outro tipo de sistema de comunicação (MONICO, 2008).

No posicionamento RTK são utilizados dois receptores coletando dados continuamente. Um dos receptores é denominado estação de referência (base) e fica posicionado sobre um ponto de coordenadas conhecidas. Já o outro receptor (*rover*), localizado nas proximidades, coleta dados nos pontos de interesse do usuário para determinação da posição em tempo real.

Como aponta Monico (2008) e Seeber (2003) a tecnologia RTK é baseada nas seguintes características: transmissão em tempo real dos dados de fase da onda portadora e pseudodistância da estação base para estação móvel e/ou as correções das mesmas; resolução da ambiguidade para a estação móvel com solução quase instantânea “*ontheway*” ou “*onthefly*” e; Determinação confiável do vetor da linha de base em tempo real ou quase em tempo real.

No que se refere à transmissão dos dados para o posicionamento RTK, em 1994 foi definido um novo tipo de mensagem pelo RTCM SC-104 (*Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committe 104*) na versão 2.1. Nesta versão o RTCM contém as mensagens 18 e 19 com os dados brutos de fase da onda portadora e pseudodistância. Alternativamente têm-se as mensagens 20 e 21, destinadas a serem usadas com as correções das medições feitas na estação de referência (SEEBER, 2003).

No entanto, no posicionamento RTK, os erros envolvidos no processo (ionosfera e troposfera) são proporcionais ao comprimento da linha de base, o que restringe a distância entre a estação de referência e o usuário a poucos quilômetros (dependendo das condições atmosféricas, principalmente da ionosfera) (BARBOSA, 2010).

2.3 NTRIP

Atualmente tem-se utilizado a internet para transmitir as mensagens RTCM. Para isto, foi desenvolvido o protocolo denominado de NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) (CHEN, LI e WEBER, 2003).

O NTRIP foi projetado para disseminar correção de dados diferencial ou outros tipos de dados GNSS para usuários, móveis ou estacionários, via Internet, permitindo conexões simultâneas de computadores, Laptops e PDAs (*Personal Digital Assistants*) que possuem acesso a Internet sem fio, como, por exemplo, GPRS, GSM ou modem 3G (IBGE, 2015).

De acordo com Dalbello (2010) a transmissão e as operações realizadas com dados através da Internet são baseadas na padronização através de protocolos. São os protocolos que organizam o envio e o recebimento de informações dentro da Internet. O protocolo NTRIP por sua vez utiliza o formato das mensagens HTTP para encapsular os dados RTCM e de forma lógica aproveita as camadas da Internet abaixo da camada de aplicação.

Este protocolo é composto por três tipos de elementos funcionais denominados de *NtripClient*, *NtripServer* e *NtripCaster*, apresentados na Figura 1.

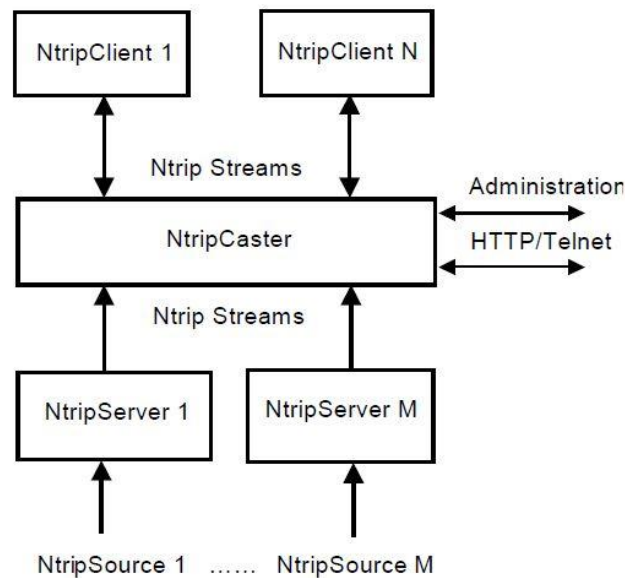


Figura 1 - Distribuição de Dados por NTRIP. Fonte: WEBER, 2005.

O *NtripServer* é responsável por se comunicar com o receptor e enviar os dados do mesmo para o *NtripCaster*. Os dados são enviados no formato RTCM.

O *NtripClient* por sua vez é responsável por acessar o *NtripCaster* e obter os dados para uma determinada aplicação. O *NtripClient* é utilizado em campo, por exemplo para que o usuário acesse os dados das estações de referência.

O *NtripCaster* funciona como um servidor HTTP e os programas *NtripClient* e o *NtripServer* são baseados no princípio cliente/servidor, conforme o conceito clássico de comunicação via Internet (LENZ, 2004; WEBER, GEBHARD e KALAFUS, 2005). O processo servidor, programa em execução em um computador, é um provedor de um serviço oferecido a um processo cliente que o requisita.

Para que o usuário possa acessar os dados em tempo real utilizando o *NtripClient* é necessário que o mesmo tenha a capacidade de acessar a Internet em campo. O acesso à infraestrutura de comunicação disponibilizada pela Internet pode ser feito utilizando, por exemplo: celulares, Smartphones, PDAs e Laptops. Além disso, novos equipamentos GNSS já se encontram disponíveis no mercado com a capacidade de se comunicar com outros equipamentos, por exemplo, com um celular via interface sem fio como o Bluetooth (DALBELO, 2010).

Utilizando o serviço RBMC-IP, a transmissão dos dados é realizada da seguinte forma: um receptor GNSS envia continuamente mensagens RTCM até um servidor "caster" localizado no IBGE. Um usuário, com um aplicativo "cliente", tais como GNSS Internet Radio ou BNC (*BKG NTRIP Client*) e com uma conexão Internet, se conecta ao servidor do IBGE e escolhe a(s) estação(ões) da RBMC-IP cujos dados ou correções diferenciais deseja receber. As correções são recebidas pelo receptor GPS (ou GNSS) do usuário através de uma porta serial padrão e desta forma pode-se estimar as posições com melhor precisão em tempo real. Atualmente, o servidor "caster" do IBGE recebe dados de 93 estações da RBMC (IBGE, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais utilizados

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes recursos: Um receptor GNSS de dupla frequência (L1/L2) modelo JAVAD TRIUMPH-1, composto por uma coletora Victor com o sistema operacional Windows Mobile; Base cartográfica de Viçosa/MG, contendo arquivos de logradouros, quadras, córregos e bairros em formato shapefile, fornecida pelo SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgotos de Viçosa); Programa QGIS, disponibilizado gratuitamente no endereço eletrônico: <https://www.qgis.org/en/site/forusers/download.html>; Marcos para implantação fornecidos pelo SAAE; Acessórios básicos (trena, tripés, etc.); Programa LGO (Leica Geo Office) com licença fornecida pela Universidade Federal de Viçosa, através do Departamento de Engenharia Civil (DEC); Programa TEQC, disponibilizado pela UNAVCO; Programa UTMS, disponibilizado pela NGS (Nacional GeodeticSurvey); Programa Convert To Rinex, disponibilizado pela Trimble; Programa Jps2, disponibilizado pela

Javad; Programa LibreOffice, disponibilizado gratuitamente no endereço eletrônico: <https://pt-br.libreoffice.org/>; Programa Google Earth Pro, disponibilizado gratuitamente no endereço: <http://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>; Descritivo da estação VICO, pertencente à RBMC, fornecido pelo IBGE; Arquivos de observações GNSS no formato RINEX referentes à estação VICO para os dias referentes a levantamentos em campo e; Arquivo de calibração das antenas das estações utilizadas, no formato ANTEX, disponibilizadas gratuitamente pelo NGS (*National Geodetic Survey*).

3.2 Metodologia

Para determinar a região que será abrangida neste trabalho, foi elaborado um mapa utilizando os shapefiles fornecidos pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa (SAAE) juntamente com o programa QGIS, em que a Estação VICO, pertencente à RBMC-IP, ficou centralizada e circunferências concêntricas com raio de mil em mil metros foram traçadas. A partir deste pôde-se estabelecer locais apropriados para instalação de marcos. Cabe destacar que um fator limitante foi a abrangência do sinal de telefonia, visto que o NTRIP consiste no envio de correções via internet por sinal de telefonia celular. Portanto, fez-se necessário verificar se cada localidade pré-definida possuía sinal da VIVO, operadora de telefonia do chip que se encontra instalado no receptor.

Como um dos objetivos foi verificar a influência da variação do comprimento da linha de base escolheram-se locais apropriados para a inserção de marcos, partindo da distância de linha de base de 350 m até 8.400 m que abrangesse sinal de telefonia móvel. A Tabela 1 mostra a identificação das estações *rovers*, bem como suas respectivas distâncias da estação base VICO, pertencente à RBMC-IP.

Tabela 1 – Identificação dos marcos e suas respectivas distâncias da estação base.

| ID | Descrição | Marcos | Distância da Base VICO (m) |
|------|--------------|------------|----------------------------|
| PT01 | Lea | Existente | 353,403 |
| PT02 | Agrícola | Existente | 988,506 |
| PT03 | Vila | Existente | 1.883,165 |
| PT04 | Trevo | Implantado | 2.958,617 |
| PT05 | ETE | Implantado | 4.423,198 |
| PT06 | Viação | Implantado | 4.907,984 |
| PT07 | Bombeiros | Implantado | 5.584,867 |
| PT08 | Bomba | Implantado | 6.456,034 |
| PT09 | Reservatório | Implantado | 7.006,184 |
| PT10 | Casa | Implantado | 7.872,111 |
| PT11 | Lagoa | Implantado | 8.408,752 |

Com a definição da área de realização do trabalho, deu-se início à implantação dos marcos. Destaca-se que foram utilizados 3 marcos já existentes. O rastreamento dos dados GNSS no modo de posicionamento relativo estático (para determinação das coordenadas de referência), foi realizado com o receptor JAVAD TRIUMPH-1, que tem capacidade de coletar dados das constelações GPS e GLONASS.

Para a determinação do tempo de rastreamento em cada marco, foi observada a primeira edição do Manual Técnico de Posicionamento, publicado pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) em 2013. De acordo com este manual, para levantamentos relativos estáticos com distância da linha de base inferior a 10 km utilizando as observáveis L1 ou L1/L2, deve-se aguardar o período de rastreamento mínimo de 20 minutos (INCRA, 2013). Entretanto, para obter uma boa confiabilidade das coordenadas de referência, o rastreamento foi realizado por um período de 50 minutos com intervalo de coleta de 5 segundos.

Para se obter coordenadas de referência, os dados foram processados no modo relativo estático com o uso do LGO. Através do site do IBGE, foi obtido o descritivo da estação VICO (base) que possui coordenadas conhecidas com confiabilidade, referenciadas ao SIRGAS 2000, na época 2000,4, bem como os dados GNSS coletados pela RBMC. Os arquivos de calibração da antena (ANTEX) foram obtidos no site da NGS.

Como os dados GNSS coletados e disponibilizados pela RBMC são de duas frequências, então foi possível eliminar os efeitos de primeira ordem da ionosfera. Além disso, no processamento foram utilizados dados coletados pelas constelações de satélites GPS e GLONASS. O modelo da troposfera foi escolhido de forma automática pelo LGO. Com isso, foram estimadas as coordenadas que serão tomadas como referência para posterior comparação.

Para a realização de testes de comparação entre as coordenadas in loco, no momento em que o levantamento estático foi encerrado, o aparelho foi mantido no mesmo local e foi realizada uma observação de coordenadas utilizando o método RTK via NTRIP com correções sendo enviadas pela estação VICO através da RBMC-IP.

Após processamento de todos os pontos, gerou-se uma planilha contendo as coordenadas geodésicas que foram convertidas para projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), no sistema de referência SIRGAS2000, época 2000,4, com a utilização do programa executável UTMS (NGS, 2015). Para utilização deste programa, foi desenvolvida uma rotina, visto que estes dados devem ser inseridos manualmente e, para não cometer erros de digitação neste processo, um script foi desenvolvido em um bloco de notas para converter todas as coordenadas.

Os dados resultantes foram inseridos em uma planilha para que fossem realizadas comparações entre as coordenadas obtidas pelo RTK via NTRIP e método relativo estático para determinação das coordenadas que serão simuladas na locação. Na primeira etapa, foram inseridas na coletora as coordenadas em projeção UTM, e posteriormente visitados todos os marcos, nos quais o conjunto de bastão com receptor ficou centralizado sobre o parafuso do marco e, após 3 minutos de espera para estabilização do sinal, foi simulada a locação utilizando o modo NTRIP, onde a base VICO envia correções em tempo real. Após este tempo, foi observado o valor da discrepância que é indicada na coletora.

4 ANÁLISES E RESULTADOS

Os resultados alcançados foram apresentados através de gráficos e tabelas, mostrando as discrepâncias entre os métodos e a variação do comprimento da linha de base. No entanto, houve alguns resultados imprevistos que serão discutidos na sequência. Abaixo segue a Tabela 2 que exhibe as coordenadas resultantes empregando os 2 (dois) métodos.

Tabela 2 - Coordenadas resultantes dos processamentos.

| PONTO | Método Relativo Estático L1 e L2 | | RTK via NTRIP | |
|-------|----------------------------------|-------------|-----------------|-------------|
| | Coordenadas UTM | | Coordenadas UTM | |
| | N (m) | E (m) | N (m) | E (m) |
| PT01 | 7.702.438,060 | 721.819,119 | 7.702.438,062 | 721.819,139 |
| PT02 | 7.701.829,729 | 721.506,220 | 7.701.829,719 | 721.506,232 |
| PT03 | 7.701.149,133 | 720.825,785 | 7.701.149,130 | 720.825,796 |
| PT04 | 7.704.881,772 | 723.846,233 | 7.704.881,778 | 723.846,242 |
| PT05 | 7.706.294,216 | 719.063,476 | 7.706.294,212 | 719.063,495 |
| PT06 | 7.707.686,533 | 722.031,419 | 7.707.686,554 | 722.031,422 |
| PT07 | 7.708.358,015 | 722.143,225 | 7.708.357,759 | 722.144,703 |
| PT08 | 7.709.222,404 | 722.265,807 | 7.709.222,408 | 722.265,831 |
| PT09 | 7.709.773,861 | 722.265,142 | 7.709.773,837 | 722.265,151 |
| PT10 | 7.706.621,419 | 714.883,537 | 7.706.621,424 | 714.883,566 |
| PT11 | 7.706.932,974 | 714.444,137 | 7.706.933,511 | 714.442,891 |

Para obter uma melhor visualização das diferenças entre as coordenadas, foi utilizada a discrepância da resultante planimétrica (Rel_NTRIP) entre os métodos de levantamento a partir da Equação 1.

$$Rel_NTRIP = \sqrt{(N_{Ntrip} - N_{Relativo})^2 + (E_{Ntrip} - E_{Relativo})^2} \quad (1)$$

Sendo,

$N_{Relativo}$: Coordenada UTM Norte do ponto obtida no processamento relativo estático;

$E_{Relativo}$: Coordenada UTM Leste do ponto obtida no processamento relativo estático;

N_{Ntrip} : Coordenada UTM Norte do ponto obtida pelo método RTK via NTRIP;

E_{Ntrip} : Coordenada UTM Leste do ponto obtida pelo método RTK via NTRIP;

É importante destacar que as coordenadas de referência estimadas são de alta precisão (milimétricas), de acordo com os valores de precisão fornecidos pelo LGO. Além disso, espera-se que as coordenadas estimadas sejam de alta acurácia, como foi observado em Almeida (2015). Em seus experimentos foram realizadas comparações entre as coordenadas estimadas com o LGO e as de referência disponibilizadas pelos descritivos do IBGE das estações

pertencentes à RBMC. Considerando as linhas de base curtas (menor que 20 km) os valores de acurácia foram de poucos milímetros. Destaca-se que as linhas de base formadas neste trabalho são menores do que 10 km.

A Figura 2 resulta da aplicação da Equação 1 e ilustra a discrepância resultante entre os métodos utilizados para obtenção de coordenadas, exibindo também as distâncias de linha de base.

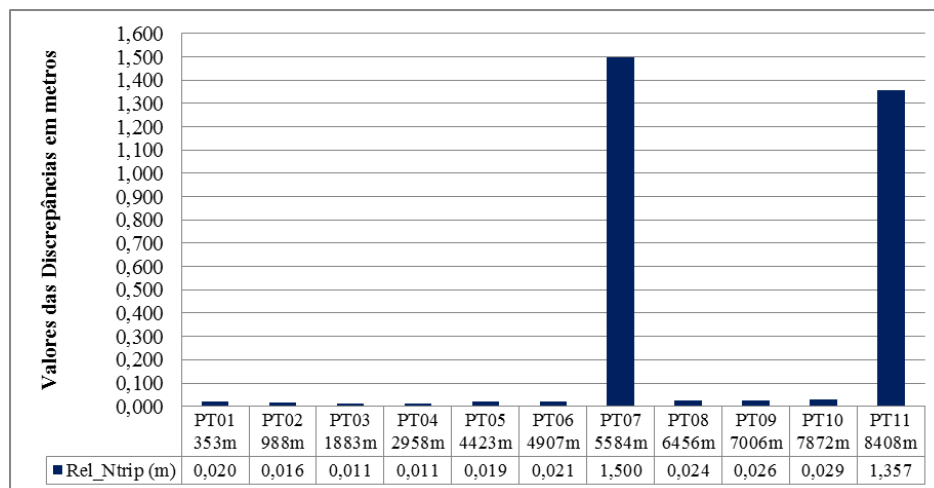


Figura 2 - Discrepância das resultantes planimétricas entre o método Relativo Estático e RTK via NTRIP.

Na Figura 2 é possível observar resultados inesperados ocorrendo nos pontos “PT07” e “PT11” e para detectar o que poderia ter ocasionado tais resultados, os arquivos RINEX referentes aos determinados pontos foram analisados. No ponto “PT11”, foram detectadas várias perdas de sinais na portadora L2 que foi utilizada no processamento. Uma alternativa foi reprocessar este ponto utilizando somente a portadora L1. As coordenadas obtidas a partir deste reprocessamento aproximaram-se das adquiridas pelo método RTK via NTRIP e reduziram de forma considerável as discrepâncias. De forma análoga, o ponto “PT07” também apresentou perdas de sinais na portadora L2 e, portanto, foi realizado o mesmo procedimento de reprocessamento utilizando somente a portadora L1. Neste caso, a solução ficou “float”, ou seja, não fixou a ambiguidade. Apesar de ter diminuído a discrepância e aproximado dos valores obtidos através da outra metodologia, esses valores ainda estão acima de todos outros pontos avaliados. Outra alternativa foi retirar as observações WAAS do RINEX. Para tanto foi utilizado o programa de conversão do formato nativo (.jps) para RINEX, apenas retirando tais observações. O processo de processamento seguido foi o mesmo, deixando as frequências L1 e L2 e o resultado foi similar aos valores de coordenadas adquiridas com o uso do RKT via NTRIP.

A Tabela 3 exibe os novos dados de coordenadas obtidas após o novo processamento relativo estático. Já a Figura 3 exibe as discrepâncias recalculadas fazendo uso da Equação 1.

Tabela 3 - Coordenadas Finais obtidas com o método relativo estático.

| PONTO | Método Relativo Estático | |
|-------|--------------------------|-------------|
| | Coordenadas UTM | |
| | N (m) | E (m) |
| PT01 | 7.702.438,060 | 721.819,119 |
| PT02 | 7.701.829,729 | 721.506,220 |
| PT03 | 7.701.149,133 | 720.825,785 |
| PT04 | 7.704.881,772 | 723.846,233 |
| PT05 | 7.706.294,216 | 719.063,476 |
| PT06 | 7.707.686,533 | 722.031,419 |
| PT07 | 7.708.357,770 | 722.144,701 |
| PT08 | 7.709.222,404 | 722.265,807 |
| PT09 | 7.709.773,861 | 722.265,142 |
| PT10 | 7.706.621,419 | 714.883,537 |
| PT11 | 7.706.933,534 | 714.442,884 |

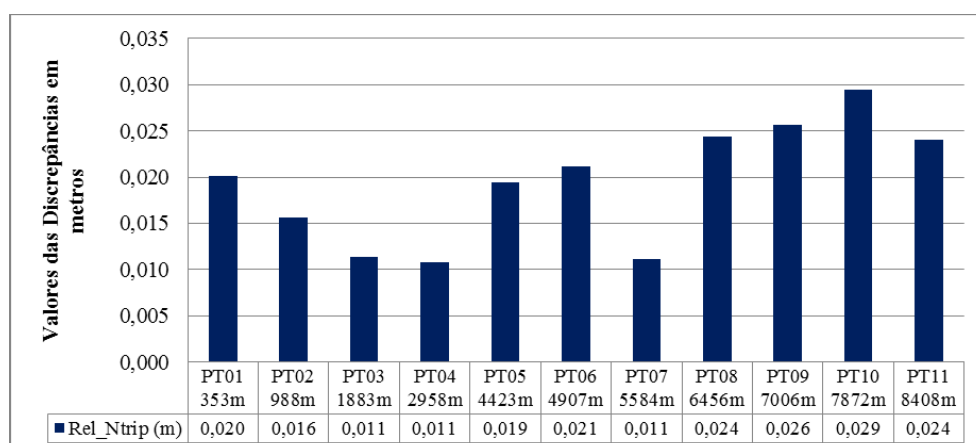


Figura 3 - Discrepâncias Planimétricas entre o método relativo estático e RTK via NTRIP após reprocessamento dos pontos “PT07” e “PT11”.

De acordo com as Figuras 2 e 3, considerando as discrepâncias entre o posicionamento relativo estático e o RTK via NTRIP, com relação ao ponto “PT07”, verifica-se que a discrepância diminuiu de 1,50m para apenas 0,011m. Já o ponto “PT11”, com uma distância de linha de base de 8.408m, a discrepância diminuiu de 1,357 m para 0,024 m, o que indica bom desempenho para realização da locação utilizando-se das coordenadas obtidas no método relativo estático.

Para realização da simulação de locação, o receptor foi instalado sobre o parafuso central de cada marco, empregando-se o modo de locação com NTRIP, disponível na coletora do JAVAD TRIUMPH-1. Em cada local foi esperado 3 minutos para estabilização do sinal, e posteriormente anotado o valor da discrepância indicado pela coletora, que é evidenciada na Figura 4.

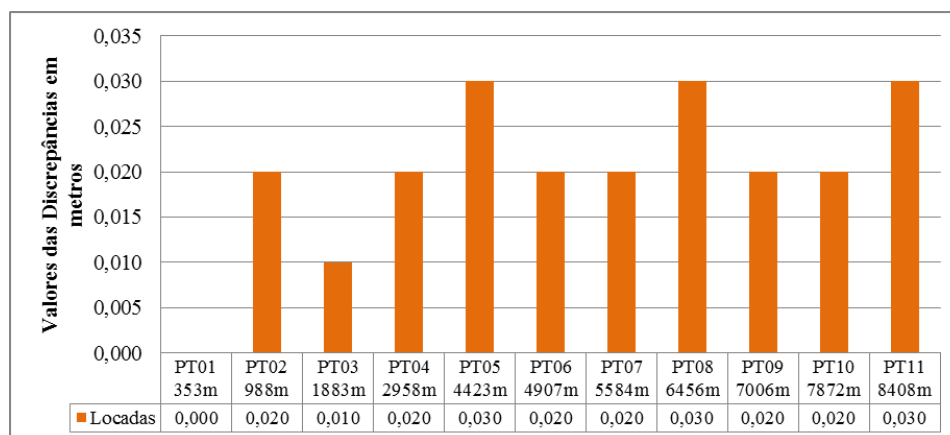


Figura 4 - Discrepâncias obtidas na simulação de locação.

Observa-se que neste processo nenhuma simulação excedeu 3 cm de discrepância, que pode ser considerado um bom resultado para aplicações em terraplanagem, estradas, obras de rede pluvial e rede de esgoto, agricultura de precisão, entre outros. Contudo, destaca-se as restrições que consistem: no acesso a rede de telefonia móvel, além do ambiente de trabalho que não contenham muitos obstáculos que interfiram na visibilidade de satélites rastreados. Vale lembrar que uma discrepância de 3 cm na locação ainda deixa de atender algumas obras como pontes, viadutos, túneis, assim como edificações de modo geral, que necessitam de um maior controle geométrico, necessitando de estações totais que fornecem precisões e/ou acurácias milimétricas. Outro fato importante foi a variação da discrepância com o aumento da linha de base, que não apresentou correlações através da análise das discrepâncias planimétricas. Vale observar que o ponto mais próximo da base, “PT01”, obteve uma discrepância nula, e que os valores máximos de 3cm foram alcançados em três pontos (“PT05”, “PT08”, “PT11”).

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Observa-se que o ponto central do experimento constituiu-se em observar as discrepâncias obtidas empregando o uso do RTK via NTRIP para realizar a locação de obras, e analisar se esta metodologia pode ser aplicada em variações da linha de base até 8.400 m, pois a utilização de apenas um aparelho pode reduzir os custos de aquisição do equipamento, além de abranger raios de atuação maiores por transmitir as correções via sinal de telefonia, ao invés de sinal de rádio.

Para que fosse possível realizar este procedimento de simulação de locação, houve a necessidade de se implantar marcos e rastreá-los com intuito de obter coordenadas confiáveis, que seriam posteriormente locadas observando suas discrepâncias. Foi então realizado o processamento relativo estático e, além disso, foram coletadas coordenadas utilizando o método RTK via NTRIP.

O processo de locação utilizando a tecnologia NTRIP foi considerado eficiente neste trabalho até a distância de linha de base de 8.400 m, fornecendo discrepâncias de, no máximo, 3 cm, observando que Carvalho e Narciso (2015) ao avaliar a utilização do RTK convencional com uso de rádio alcançou resultados semelhantes, variando a linha de base até 1.500 m. Pode-se destacar, desta forma, a potencialidade do uso desta nova tecnologia. Contudo, salienta-se que o método depende do sinal de telefonia móvel de alguma operadora, apesar de utilizar apenas um receptor.

Recomenda-se para trabalhos futuros, aplicar os métodos que foram utilizados neste trabalho contemplando linhas de base maiores além de analisar o comportamento da componente altimétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. S. **Análise comparativa da qualidade posicional dos métodos de posicionamento por PPP e do posicionamento relativo estático com GNSS**. Dissertação (Mestrado em Informações Espaciais) –Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015. 126 f.

ALVES, D. B. M. **Posicionamento GPS utilizando o conceito de Estação Virtual**. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2008. 165 f.

BARBOSA, E. M. **Integridade, disponibilidade e acurácia no posicionamento RTK e RTK em rede: investigação no contexto da rede GNSS ativa do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2010. 140f.

CARVALHO, P. A.; NARCISO, T. A. S. **Influência da atualização de coordenadas em projetos de locação utilizando RTK**. Monografia (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014. 41f.

CHEN, R.; LI, X.; WEBER, G. Test results of an Internet RTK system based on the NTRIP protocol. In: ION GPS 2003, Oregon Convention Center, Portland. **Proceedings...**, 2003.

DAI, L.; WANG, J.; RIZOS, C.; HAN, S. Predicting Atmospheric Biases for Real-Time Ambiguity Resolution in GPS/GLONASS Reference Station Networks. **Journal of Geodesy**, p.617-628, 2003.

DALBELO, L. F. A. **DGPS em rede: desenvolvimento e implantação via internet utilizando a rede GNSS do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2010. 101f.

ENGEL, F.; HEISER, G. The An Open GNSS Receiver Platform Architecture. In: **The 2004 International Symposium on GNSS/GPS**, Sydney, Australia. **Proceedings...**, 2004.

IBGE, **Recomendações para Levantamentos Relativo Estático – GPS**, Diretoria de Geociências, Departamento de Geosésia, Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

IBGE, **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS em tempo real**. Retirado de: <http://ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ntrip/> Acessado em: 03/11/2015.

INCRA. **Manual Técnico de Posicionamento**, 1ª ed. 2013. Disponível em: <http://portalantigo.incra.gov.br/index.php/estrutura-fundiaria/regularizacao-fundiaria/certificacao-de-imoveis-rurais/file/1574-manual-tecnico-de-posicionamento>. Acessado em: 04/06/2015.

LENZ, E. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) –Application and Benefit in Modern Surveying Systems. In: **FIG Working Week 2004**, Athens, Greece. **Proceedings...** 2004.

MONICO, J.F.G.. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Ed. da Unesp, 2º ed., 2008. 476p.

NGS *National Geodetic Survey*. Programa executável UTMS. Disponível em: <http://www.ngs.noaa.gov/PC_PROD/UTMS/> Acessado em: 01 de outubro de 2015.

SEEBER, G.. **Satellite Geodesy**. 2º ed. Berlin-New York: Walter de Gruyter, 2003. 589p.

WEBER. G. GEBHARD. H. KALAFUS. R. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip) – IP-Streaming for Real-Time GNSS Applications. In: **ION GNSS 2005**, Long Beach, California. Proceedings... 2005.